

Jolanta Zielińska

Zasada działania i ocena przydatności w modelowaniu procesów poznawczych metod obrazowania pracy mózgu

Wprowadzenie

W swojej istocie proces uczenia się polega na wykonaniu konkretnego zadania postawionego przed uczącym się. Uczenie się, polegające na zapamiętaniu informacji, jako proces latentny nie podlega bezpośredniej obserwacji. Takiej ocenie podlega jedynie sposób wykonania zadania. Stąd tworzenie modeli takiego procesu jest niezmiernie trudne. Przykładowo istnieje możliwość zakodowania informacji w pamięci podczas próby uczenia się, pomimo pozornego jej braku w polu świadomości. Na skutek odpowiedniej procedury doświadczalnej lub przebiegu wewnętrznych procesów przetwarzania informacji może ona ulec uaktywnieniu, przykładowo poprzez zastosowanie określonego algorytmu działania, wymuszającego niejako przebieg procesów poznawczych. Aby uzyskać obiektywną i rzetelną wiedzę o tym, jak przebiegają procesy latentne charakterystyczne dla procesu uczenia się, a tym samym dać podstawy naukowe do tworzenia modeli przebiegu procesów poznawczych, nie wystarczy jedynie procedura obserwacyjna. Do uczenia się służy mózg. Stąd w celu tworzenia modeli procesów poznawczych należy oprzeć się na osiągnięciach takich nauk, jak neurobiologia, neurocybernetyka, ogólnie *neuroscience* (neuronauki) w zakresie dostępu do wiedzy o jego pracy. Reasumując, należy oprzeć naukę skutecznego uczenia się poprzez wykorzystanie do tego celu modeli poznawczych na podstawach neuronalnych.

Metody badania ośrodkowego układu nerwowego dzieli się na strukturalne i funkcjonalne. Metody strukturalne pokazują struktury mózgowie, natomiast metody funkcjonalne dostarczają danych o metabolizmie tkanki mózgowej. Do metod strukturalnych zaliczana jest tomografia komputerowa, nuklearny rezonans magnetyczny oraz angiografia. Do metod funkcjonalnych należą funkcjonalny rezonans magnetyczny, tomografia emisyjna pojedynczego fotonu, pozytronowa emisyjna tomografia, metoda elektroencefalografii (EEG) oraz metoda potencjałów wywołanych. Kolejny podział metod dotyczy stopnia ich inwazyjności, czyli bezpieczeństwa osób badanych. Metody inwazyjne to tomografia komputerowa, angiografia oraz metody scyntygraficzne. Metody nieinwazyjne to metody rezonansowe oraz EEG [3].

Do wykorzystania oceny pracy mózgu osób w trakcie wykonywania konkretnych zadań poznawczych podczas rozwiązywania zadań związanych z procesem uczenia się przydatne są jedynie metody bezinwazyjne.

Metoda encefalograficzna EEG badania pracy mózgu

Metoda encefalografii wyróżnia się spośród wszystkich technik badania pracy mózgu najdłuższą historią zastosowań klinicznych, najniższym kosztem, całkowitą nieinwazyjnością oraz najwyższą rozdzielczością. Dwie ostatnie cechy ma metoda magnetoencefalografii [3]. Badanie EEG polega na rejestracji przy pomocy elektrod umieszczonych na skórze głowy ze specjalnym żelem (co stanowi dużą niedogodność) czynnościowych prądów mózgu człowieka, które charakteryzują się niewielkim napięciem (od kilku do kilkuset mikrowoltów). Częstotliwość tych prądów waha się od 0,5 Hz do 50 Hz. Technologia zapisu EEG wykorzystuje obecnie wysokiej klasy wyspecjalizowane urządzenia zapewniające próbkowanie badanych sygnałów w czasie i przestrzeni z częstotliwością tysięcy Hz oraz do 130 par elektrod używanych jednocześnie jako detektory wejściowe. Ekranie komputera, spowodowały dynamiczny rozwój stosowania tej metody w praktyce.

Z jednej strony aktualny stan badań nad mózgiem realizowany przez neurobiologów, z drugiej informatyczne narzędzia opracowane przez inżynierów, umożliwiające przedstawienie wyników badań na ekranie komputera, spowodowały dynamiczny rozwój stosowania tej metody w praktyce. Wynikiem tej współpracy jest metoda QEEG (ang. *Quantitative EEG*) służąca do badania funkcji i dysfunkcji mózgu, a także planowania sesji biofeedback. Aktualnie jest ona stosowana w badaniach z zakresu psychologii i psychiatrii do diagnozy ADHD, depresji, dysleksji, schizofrenii oraz zaburzeń lękowych. Metoda QEEG umożliwia nie tylko zapis sygnału EEG, ale w oparciu o specjalny program komputerowy jego ilościową analizę. Analiza ta jest realizowana w postaci widma amplitudy względem częstotliwości, opisanego stabelizowanymi wartościami liczbowymi oraz jako mapa topograficzna pokazująca rozkład czynności EEG w różnych miejscach na powierzchni skóry głowy [3].

Słabym punktem metody elektroencefalografii jest analiza i interpretacja danych. Pomimo dynamicznego rozwoju matematyki i informatyki podstawową metodą jest nadal analiza wzrokowa, tyle że dokonywana na ekranie komputera [3]. Przeprowadzający badania musi samodzielnie zdecydować, jakie części sygnału wycina z uzyskanego obrazu, traktując je jako artefakty, wynikające przykładowo z otwarcia oczu i mrugania osoby badanej. Problemów jest więcej, związane są one z wpływem na uzyskiwane wyniki badań obecności innych pól, a nawet diety pacjenta czy stosowania przed badaniem używek.

Reasumując, metoda encefalografii EEG jest możliwym do użycia w badaniach edukacyjnych rozwiązaniem, niemniej wymaga doświadczenia w interpretacji widocznych na ekranie komputera przebiegów sygnału pracy mózgu i ma głównie zastosowanie monitorująco-diagnostyczne. Do modelowania procesów poznawczych znacząco lepszym rozwiązaniem jest metoda potencjałów wywołanych.

Metoda potencjałów wywołanych badania pracy mózgu

Potencjały wywołane EEG (ang. *evoked potentials*, EP) definiowane są jako ślady odpowiedzi mózgu na bodźce. W przypadku MEG stosowane jest określenie pola wywołane (ang. *evoked fields*, EF). Zwykle reakcja ta jest mała i w zapisie pojedynczej realizacji reakcji na bodziec najczęściej niewidoczna wśród czynności pochodzącej od wielu innych procesów zachodzących w tym samym czasie w mózgu. Ich wyodrębnienie z tła EEG/MEG, czyli manifestacji elektrycznej innych, trwających w tym samym czasie w mózgu procesów (aktywny prąd niezależny), wymaga zapisu odpowiedzi na szereg powtórzeń tego samego bodźca. Rozwój techniki komputerowej, odpowiednie oprogramowanie pozwala w chwili obecnej na cyfrowe uśrednianie kolejnych fragmentów EEG, zsynchronizowanych według momentu wystąpienia bodźca [3].

Metoda EP opiera się na założeniu, że zawarta w EEG odpowiedź mózgu na każdy z kolejnych bodźców jest niezmienna, a EEG odzwierciedlające pozostałe procesy traktowane jest jak nieskorelowany z nią proces stochastyczny. Zależnie od rodzaju potencjałów wywołanych, założenia te są mniej lub bardziej nieuzasadnione; podważa je przykładowo efekt habituacji, polegający na osłabieniu późnych potencjałów wywołanych kolejnymi powtórzeniami bodźca. Potencjały związane z wydarzeniami (ERP) to czynność elektryczna mózgu na skali czasowej, z dokładnym zaznaczeniem wydarzenia zewnętrznego, które służy za punkt odniesienia. Potencjały elektryczne są rejestrowane z powierzchni głowy po zadziaaniu bodźca wzrokowego, słuchowego lub czuciowego. Stąd wyróżnia się wzrokowe, słuchowe lub somatosensoryczne potencjały wywołane. Metoda potencjałów wywołanych jest przedmiotem otwartej dyskusji naukowej, z której wynika, że jest to doskonałe rozwiązanie dla zastosowań w zakresie zaawansowanych metod modelowania oraz analizy sygnałów [3]. Stąd stanowi ona najlepszą możliwą do użycia technikę służącą do uzyskania wiedzy pozwalającej na tworzenie modeli procesów poznawczych. Kolejna z prezentowanych metod jest kontrowersyjna, niemniej wydaje się wysoce przydatna w omawianej problematyce badawczej.

Metoda eyetrackingu badania pracy mózgu

Metoda eyetrackingu badania pracy mózgu stosowana jest aktualnie jako narzędzie w obszarze informatycznym do śledzenia aktywności poznawczej osób oglądających strony internetowe. Metoda ta nie jest w badaniach naukowych traktowana jako równorzędne względem wcześniej opisanych metod badania pracy mózgu rozwiązanie. Jest faktem, iż nie dostarcza podobnych jakościowo i ilościowo informacji, a jedynie pokazuje aktywność poznawczą mózgu na podstawie śledzenia ruchu gałek ocznych. Niemniej jest prosta w użyciu, a uzyskiwane wyniki są opracowywane komputerowo przez specjalny program i reprezentowane w formach łatwych do interpretacji.

Wskazując tę metodę jako potencjalnie najlepszą do użycia w zastosowaniach edukacyjnych, w tym do tworzenia modeli procesów poznawczych, należy odnieść się do podstaw teoretycznych jej zastosowania. We współczesnych badaniach realizowanych zarówno na gruncie psychologii, jak i biologii funkcjonuje pojęcie „mózgu wzrokowego”. Istnieje koncepcja naukowa dwóch mózgów wzrokowych, czyli dwóch niezależnych systemów: przetwarzania informacji wzrokowej. Pierwszy jest odpowiedzialny za świadome widzenie, natomiast drugi zapewnia sprawność działania [4]. Teoria dwóch mózgów wzrokowych, jako nowa teoria widzenia, zakłada istnienie dwóch systemów: brzuszego, wyspecjalizowanego w percepcji wzrokowej, i grzbietowego, wyspecjalizowanego we wzrokowej kontroli działania. Zapoczątkowała ona wiele badań przeprowadzanych nowoczesnymi metodami obrazowania funkcjonalnego mózgu fMRI oraz zrodziła nowe hipotezy filozoficzne na temat relacji umysł – ciało [4]. Badania te wskazują na możliwość nowego systemu organizacji wiedzy i projektowanie eksperymentów, które w inny sposób nie mogłyby być zrealizowane. Do nich można zaliczyć modelowanie procesów poznawczych, pozwalające na nauczanie skutecznego uczenia się. W oparciu o ocenę aktywności mózgu poprzez spostrzeganie wzrokowe może mieć miejsce wypracowanie algorytmów konkretnego działania, prowadzącego do zmiany poznawczej.

Metoda eyetrackingu polega na rejestracji wideo aktywności wzrokowej. Jest to możliwe podczas przemieszczania się osoby badanej za pomocą urządzeń zamontowanych na głowie (eyetracking mobilny) lub w sposób zdalny (*remote eyetracking*). Urządzenie może być przykładowo zintegrowane z monitorem komputera. Prezentowany badanemu materiał jest używany w późniejszej analizie zapisu aktywności wzrokowej i łączony z tymi wynikami jako „tło”. Aktualnie w metodzie tej najczęściej stosuje się kamery podczerwone, ułatwiające identyfikację źrenicy oraz lokalizację odbicia rogówkowego, co pozwala na określenie wektora patrzenia. Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki są prezentowane w trzech formach: filmu z markerem oznaczającym aktualne skupienie wzroku, mapy cieplnej i mapy fiksacji. Głównymi miarami, używanymi w badaniach eyetrackingu, są fiksacje, czyli skupienie wzroku na danym elemencie, oraz sakkady, szybkie ruchy oka zachodzące pomiędzy kolejnymi fiksacjami [2].

Wbrew subiektywnym odczuciom, oczy nie widzą otoczenia w sposób ciągły. Oko zatrzymuje się na wybranym, obserwowanym fragmencie obrazu na ok. 200 ms. Takie zdarzenie nazywamy fiksacją (ang. *fixation*). Potem skokowo wzrok przenoszony jest na inne miejsca z częstotliwością 4–5 razy na sekundę. Długość oraz liczba fiksacji określa, jak badany element skupia uwagę [2]. Im niższy czas do pierwszej fiksacji, tym wyższa zdolność badanego elementu do skupiania uwagi. Liczba fiksacji na danym elemencie określa jego istotność dla badanej osoby i zauważalność w procesie skanowania wzrokiem. Można wyznaczać obszary fiksacji oczu badanych osób, czasy tych fiksacji (całkowite oraz średnie), szybkości sakkad oraz czasy reakcji oczu na prezentowane bodźce (*saccade latency*). Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki prezentowane są za pomocą heatmap. Heatmapa to rozkład

cieplny uwagi kierowanej na badany element, który wyodrębnia elementy zauważone i pominięte podczas skanowania wzrokiem, w tym ich kolejność. Tym samym pomaga zrozumieć, dlaczego dany element jest postrzegany w taki, a nie inny sposób.

Funkcjonują heatmapy czarno-białe, na których poziom transparentności świadczy o natężeniu uwagi kierowanej na dany element, oraz klasyczne heatmapy kolorowe. Obydwa rodzaje map pokazują, w jaki sposób osoba badana przetwarza informacje, na które patrzy, które elementy przyciągają jej uwagę, skupiają ją najdłużej, do jakich elementów powraca, jakich nie zauważa, jaki jest model i kierunek kolejności skanowania przestrzeni, czy wykonuje ona zadanie planowo, ze zrozumieniem, czy jest zagubiona w działaniu. Bardziej przydatne w ocenie przebiegu aktywności mózgu podczas aktywności poznawczej są realizowane na podstawie heatmap ścieżki skanowania wzrokiem (*gaze ploty*). Przedstawiają one bowiem kierunek skanowania wzrokiem, a dokładniej ścieżkę, jaką pokonały oczy, dokonując kolejnych fiksacji. Zaznaczone kolorem czerwonym koła obrazują fiksacje, im większa średnica tym dłuższa fiksacja. Natomiast linie pomiędzy kołami pokazują kierunek skanowania wzrokiem, czyli ruch sakkadyczny oka.

Metodą eyetrackingu można mierzyć w sposób nieinwazyjny wiele istotnych parametrów związanych z aktywnością mózgu w trakcie rozwiązywania różnych zadań poznawczych. Pozwala ona na pokazanie, jak na podstawie analizy aktywności oczu (map koncentracji uwagi) badać różne strategie rozwiązywania problemów. Uzyskane metodą eyetrackingu wyniki w trakcie badań wykonywanych na dużych, statystycznie istotnych grupach badawczych, odpowiednio zebrane i zinterpretowane, mogą być niezwykle cennym źródłem informacji ułatwiającym zrozumienie mechanizmów poznawczych występujących podczas procesu uczenia się, w tym określenia strategii postępowania podczas rozwiązywania problemów o bardzo różnym stopniu trudności.

Literatura

- [1] Blakemore, S.J., Frith, U., *Jak uczy się mózg*, Wydaw. UJ, Kraków 2008.
- [2] Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D., *Spectrum of physics comprehension*, *European Journal of Physics*, 33, 2012, s. 565–57.
- [3] Durka P., *Badanie funkcji mózgu z wykorzystaniem encefalografii*, [w:] R. Tadeusiewicz (red.), *Neurocybernetyka teoretyczna*, UW, Warszawa 2009.
- [4] Milner A.D., Goodale M.A., *Mózg wzrokowy w działaniu*, PWN, Warszawa 2008.

The Use of Brain Activity Neuroimaging in Pedagogy – Cognitive and Scientific Influences

Abstract

The complexity of the phenomena associated with the course of the cognitive processes that determine efficient learning rules out the possibility of collecting knowledge in other ways than neural information. It also excludes the possibilities of interpreting it in other

ways than with the use of appropriately formalized cognitive models. The present paper is the summary of the latest achievements in this field. In the paper issues connected with the modelling of cognitive processes and applicability of various brain research methods in this area are described. It is worth paying attention to the proposed use of eye-tracking methods in educational research, so far applied only in the area of information technology.

Key words: modelling of cognitive processes, learning, methods of monitoring brain activity, (neuroscience)

Jolanta Zielińska
Instytut Pedagogiki Specjalnej
Instytut Techniki
Uniwersytet Pedagogiczny
ul. Podchorążych 2
30-084 Kraków, Polska